

TUGAS AKHIR

**PENGARUH KOMPOSISI KARBON GRAFIT DENGAN *EPOXY* RESIN
SEBAGAI BAHAN PEREKAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK PADA PELLET KOMPOSIT POLIMER**

*Diajukan sebagai salah satu syarat
Guna memperoleh gelar Sarjana Teknik*



OLEH :

JANA EK SIMARMATA

NPM : 15.331.0807

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH KOMPOSISI KARBON GRAFIT DENGAN *EPOXY* RESIN
SEBAGAI BAHAN PEREKAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK PADA PELLET KOMPOSIT POLIMER

Disusun Oleh :

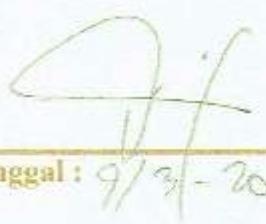
JANA EK SIMARMATA

153310807

PEKANBARU

Disetujui Oleh :

Dr. DEDIKARNI, S.T., M.Sc
Dosen Pembimbing


Tanggal : 9/3/2022

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH KOMPOSISI KARBON GRAFIT DENGAN *EPOXY* RESIN
SEBAGAI BAHAN PEREKAT TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
KONDUKTIVITAS LISTRIK PADA PELLET KOMPOSIT POLIMER

Disusun Oleh :

JANA EK SIMARMATA

153310807

PEKANBARU

Disahkan Oleh :

MENGETAHUI

Ketua Prodi Teknik Mesin



JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D
NIDN : 1009038504

PEMBIMBING



Dr. DEDIKARNI, S.T., M.Sc
NIDN : 1005047603

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Janaek Simarmata

NPM : 153310807

Program Studi : Teknik Mesin (SI)

Judul Tugas Akhir : "Pengaruh Komposisi Karbon Grafit Dengan Epoxy Resin Sebagai Bahan Perkuat Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Listrik Pada Pellet Komposit Polimer"

Menyatakan dengan sebenar benarnya bahwa penulisan tugas akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya ilmiah saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data data yang tercantum pada tugas akhir ini. Jika terdapat karya ilmiah ini milik orang lain, saya akan mencantumkan sumber dengan jelas pada daftar pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta tidak benar dalam pernyataan ini, maka saya bersedia mengakuinya dan menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan baik baik saja dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, Februari 2022

Yang bertandatangan



Janaek Simarmata

NPM : 153310807

**PENGARUH KOMPOSISI KARBON GRAFIT DENGAN *EPOXY*
RESIN SEBAGAI BAHAN PEREKAT TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN KONDUKTIFITAS LISTRIK PADA PELLET KOMPOSIT
POLIMER**

Janaek Simarmata, Dr. Dedikarni. ST., M.Sc

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761-674635 Fax. (0761) 674834
Email: janaeksimarmata@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Komposit banyak diaplikasikan pada alat yang membutuhkan perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat dan ringan. Saat ini telah dikembangkan suatu metode pembuatan komposit yang dikenal dengan CPC (*conducting polymer composite*), yang dapat menghasilkan produk dan memenuhi kriteria untuk sel bahan bakar, baik dari sifat *mechanical* maupun *electrical properties*, keuntungannya adalah ekonomis memiliki fleksibilitas yang tinggi dan lebih mudah dilakukan fabrikasi serta lebih ringan jika dibandingkan dengan plat logam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase campuran karbon *grafit* dengan *epoxy* resin sebagai bahan perekat terhadap sifat mekanik dan konduktifitas listrik, persentase yang digunakan 90% karbon grafit : 10% epoxy resin, 80% karbon grafit : 20% epoxy resin, 70% karbon grafit : 30% epoxy resin. Pengujian yang dilakukan adalah uji mikrostruktur, uji kekuatan bending, dan uji konduktivitas listrik. Untuk hasil pengujian konduktivitas listrik yang paling tinggi terdapat pada spesimen dengan komposisi 90% karbon grafit : 10% karbon grafit dengan nilai 98.42 S/cm, dan konduktivitas listrik terendah terdapat pada spesimen dengan komposisi 70% karbon grafit : 30% epoxy resin dengan nilai 44.88 S/Cm. sedangkan untuk hasil pengamatan mikrostruktur dan kekuatan bending yang paling baik terdapat pada spesimen dengan komposisi 70 % karbon grafit : 30% epoxy resin karena susunan partikelnya yang cukup rapat dan memiliki kekuatan bending 11.08 N/mm².

Kata Kunci : Komposit polimer, Sifat Mekanik, Konduktivitas Listrik.

THE EFFECT OF GRAPHITE CARBON COMPOSITION WITH EPOXY RESIN AS ADHESIVE MATERIAL ON MECHANICAL PROPERTIES AND ELECTRIC CONDUCTIVITY IN PELLET POLYMER COMPOSITE

Janaek Simarmata, Dr. Dedikarni. ST., M.Sc

Mechanical Engineering Study Program, Faculty Of Engineering Islamic University Of Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Email: janaeksimarmata@student.uir.ac.id

ABSTRCK

Composites are widely applied to tools that require a combination of two basic properties, namely strength and lightness. Currently, a composite manufacturing method known as CPC (conducting polymer composite) has been developed, which can produce products and meet the criteria for fuel cells, both in terms of mechanical and electrical properties, the advantage is that it is economical, has high flexibility and is easier to fabricate and lighter than metal plates. This study aims to determine the effect of the percentage of a mixture of carbon graphite with epoxy resin as an adhesive on the mechanical properties and electrical conductivity, the percentage used is 90% carbon graphite: 10% epoxy resin, 80% carbon graphite: 20% epoxy resin, 70% carbon graphite. : 30% epoxy resin. The tests carried out are microstructure test, bending strength test, and electrical conductivity test. For the test results, the highest electrical conductivity is found in specimens with a composition of 90% carbon graphite: 10% carbon graphite with a value of 98.42 S/cm, and the lowest electrical conductivity is found in specimens with a composition of 70% carbon graphite: 30% epoxy resin with a value of 44.88. S/Cm. while for the observation of microstructure and bending strength the best is found in the specimen with a composition of 70% carbon graphite: 30% epoxy resin because the particle arrangement is quite dense and has a bending strength of 11.08 N/mm².

Keywords : polymer composite, mechanical properties, electrical conductivity.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang mana telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul, **“Pengaruh Komposisi Karbon Grafit Dengan Epoxy Resin Sebagai Bahan Perekat Terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Pada Pellet Komposit Polimer”**. Guna memenuhi salah satu persyaratan mata kuliah tugas akhir pada program studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Oleh karena itu dengan kerendahan hati patutlah penulis mengucapkan terimakasih sebanyak-banyaknya kepada :

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT selaku dekan fakultas teknik Universitas Islam Riau
3. Bapak Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., PhD selaku kepala program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Rafil Arizona, ST., M.Eng selaku sekretaris program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Dr. Dedikarni, M.Sc selaku pembimbing tugas akhir penulis.
6. Seluruh Dosen yang mengajar di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Teman-teman seperjuangan, yang telah memantu dan mendukung dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca agar tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Pekanbaru,... Januari 2022
Penulis

Janaek Simarmata
NPM : 153310807

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR NOTASI	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Komposit.....	5
2.2 Klasifikasi Komposit.....	6
2.3 Bagian Utama Komposit.....	7
2.3.1 Reinforcement.....	7
2.3.2 Matriks.....	8
2.4 Jenis-jenis Komposit.....	10
2.5 Metoda Pembuatan Komposit.....	11
2.5.1 Proses Cetakan Terbuka.....	11
2.5.2 Proses Cetakan Tertutup.....	14
2.6 Karbon.....	15
2.6.1 Alotrop Karbon.....	15
2.6.2 Grafit.....	16
2.6.3 Sifat dan kegunaan grafit.....	17
2.7 Jenis-jenis resin.....	18
2.7.1 Resin Epoxy.....	18
2.7.2 Resin Amino.....	19
2.7.3 Resin Furan.....	20
2.7.4 Resin Silikon.....	20

2.7.5	Resin Polyester.....	20
2.7.6	Resin Akrilik.....	21
2.7.7	Resin Vinil.....	21
2.7.8	Resin Damar (Lem Kopal).....	22
2.8	Pengujian Komposit.....	22
2.8.1	Pengujian Konduktivitas Listrik.....	22
2.8.2	Pengujian Kekuatan Bending.....	23
2.8.3	Pengamatan Mikrostruktur.....	26
2.9	Fuel Cell.....	27
2.10	Jenis-jenis Fuel Cell.....	28
2.11	Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC).....	30
2.12	Pelat Bipolar.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		32
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	32
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
3.3	Alat Dan Bahan.....	33
3.3.1	Alat.....	33
3.3.2	Bahan.....	38
3.4	Penentuan Fraksi Volume.....	40
3.4.1	Volume Cetakan.....	40
3.4.2	Volume Spesimen.....	40
3.5	Prosedur Pembuatan dan Pengujian.....	41
3.5.1	Pembuatan Pellet composit Polimer.....	42
3.5.2	Pengujian Konduktivitas Listrik.....	42
3.5.3	Pengujian Kekuatan Bending.....	43
3.5.4	Pengamatan Mikrostruktur.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Uji Konduktivitas Listrik.....	44
4.2	Pengamatan Struktur Mikro.....	47
4.3	Uji Kekuatan Bending.....	51
4.3.1	Hasil Data Uji Bending.....	51
4.3.2	Grafik Pengujian Kekuatan Bending.....	52
BAB V PENUTUP.....		54

5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN		



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme susunan komposit.....	6
Gambar 2.2	Pembagian komposit berdasarkan bentuk dari reinforcement-nya.....	7
Gambar 2.3	Pembagian Matriks.....	8
Gambar 2.4	Ilustrasi matriks pada komposit.....	10
Gambar 2.5	Proses pencetakan dengan hand lay up.....	12
Gambar 2.6	Proses pencetakan dengan vacuum bag.....	12
Gambar 2.7	Proses pencetakan dengan pressure bag.....	13
Gambar 2.8	Proses pencetakan dengan spray-up.....	13
Gambar 2.9	Proses pencetakan dengan compression molding.....	14
Gambar 2.10	Proses pencetakan dengan hand injection molding.....	14
Gambar 2.11	Grafit.....	16
Gambar 2.12	Struktur grafit.....	17
Gambar 2.13	Three point Bending.....	25
Gambar 3.1	Cetakan.....	33
Gambar 3.2	Gelas Ukur.....	33
Gambar 3.3	Spatula.....	34
Gambar 3.4	Timbangan analitik.....	34
Gambar 3.5	Sarung Tangan Kimia.....	35
Gambar 3.6	Kertas Aluminium.....	35
Gambar 3.7	Alat Uji Mikrostruktur.....	35
Gambar 3.8	Alat Uji Kekuatan Tekan.....	36
Gambar 4.1	Grafik Konduktansi dan Komposisi Campuran.....	46
Gambar 4.2	Grafik Konduktivitas Listrik dan Komposisi Campuran.....	47

Gambar 4.3	Perbandingan grafit 90% dengan Epoxy 10%.....	48
Gambar 4.4	Perbandingan grafit 80% dengan Epoxy 20%.....	49
Gambar 4.5	Perbandingan grafit 70% dengan Epoxy 30%.....	50
Gambar 4.6	Pellet komposit Polimer (spesimen 1, 90% : 10%), (Spesimen II, 80% : 20%), (Spesimen III, 70% : 30%).	51
Gambar 4.7	Spesimen uji bending, (spesimen 1, 90% : 10%), (Spesimen 2, 80% : 20%), (Spesimen 3, 70% : 30%)	52
Gambar 4.8	Grafik Hasil Uji Kekuatan Bending.....	53



DAFTAR NOTASI

σ = Konduktifitar Listrik	(S/cm)
K = Resistivitas Listrik	(Ω /cm)
L = Tebal Bahan	(cm)
A = Luas Alas	(cm ²)
R = Resistansi	(ohm)
G = Konduktansi	(Siemens)
ϵ = Permitivitas	($8,85 \times 10^{-14}$ F/cm)
σ_f = Tegangan Bending	(kgf/mm ²)
F = Gaya Pembebanan Yang Terjadi	(kgf)
L = Jarak Point	(mm)
b = Beban Benda Uji	(mm)
d = Ketebalan Benda Uji	(mm)
Vc = Volume	(cm ³)

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Sifat Grafit.....	17
Tabel 2.2 Kelebihan dan Kelemahan Metode Uji <i>Three Point Bending</i> dan <i>Four Point Bending</i>	25
Tabel 2.3 Jenis-jenis Fuel Cell, Karakteristik, dan Penggunaan.....	27
Tabel 3.1 Sifat Karbon Grafit.	38
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	43
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi.....	44
Tabel 4.2 Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi.	46
Table 4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Bending.	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material komposit terbagi atas dua tipe material penyusun, yakni matriks dan fiber (*reinforcement*). Keduanya memiliki fungsi yang berbeda, fiber berfungsi sebagai material rangka atau tulangan yang menyusun komposit, sedangkan matriks berfungsi sebagai perekat fiber dan menjaganya agar tidak berubah posisi. Campuran keduanya akan menghasilkan material yang keras, kuat, ulet, dan juga ringan (Gupta, 2014; Ratna et al., 2011).

Komposit berpenguat fiber atau serat banyak diaplikasikan pada alat yang membutuhkan perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat namun juga ringan. Bahan komposit memiliki banyak kelebihan diantaranya berat jenisnya rendah, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi, dan memiliki beban pembuatan yang lebih murah. Komposit diartikan seperti kombinasi antara dua atau lebih material yang terpaut bentuknya, komposisi kimianya, dan tidak saling melarutkan antara materialnya dimana material yang satu berperan sebagai penguat dan material dikatakan berperan sebagai pengikat atau perekat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Elanchezhian et al., 2018; Gironès et al., 2011).

Semakin majunya zaman teknologi saat ini, diperlukan suatu pengembangan metode baru yang bisa menawarkan solusi teknik yang mengedepankan kemampuan sistem. Saat ini telah dikembangkan suatu metode pembuatan komposit yang dikenal dengan CPC (*Conducting Polymer Composite*) yang dapat menghasilkan produk yang memenuhi kriteria untuk sel bahan bakar baik dari sifat *mechanical* maupun *electrical properties*. Keuntungan menggunakan metode ini adalah biaya yang lebih murah, memiliki fleksibilitas yang tinggi dan lebih mudah dilakukan fabrikasi serta lebih ringan jika dibandingkan dengan plat logam.

Grafit murni merupakan material utama yang digunakan sebagai material *Pellet Conducting Polymer Composite* karena alotrop karbonnya yang dapat menghantarkan arus listrik dan panas dengan baik. Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan menunjukkan hasil penelitian dengan menggunakan pelet komposit berbahan grafit dan karbon hitam dengan penekanan 200 bar pada temperature 200⁰C menghasilkan nilai konduktivitas listrik sebesar 230 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Tomo, 2010).

Untuk penelitian kali ini penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi gabungan dari karbon grafit dengan *epoxy* resin untuk meningkatkan konduktivitas listrik pellet komposit polimer. Segudang kegunaan dari *epoxy* resin terus berkembang, dan beragam *epoxy* terus dikembangkan agar sesuai dengan industri dan peruntukan. Dalam bidang polimer yang memperkuat serat (plastik), *epoxy* resin sangat efisien menahan serat di tempatnyadan kompatibel dengan semua serat penguat umum termasuk *fiberglass*, serat karbon, aramid, dan basal. Sehingga *epoxy* resin adalah resin terbaik dari beberapa resin yang ada seperti resin *acrylic*, resin *polyester*, *amono*, *furan*, *silicon*, *vinil* dan yang lainnya. Oleh karena itu penulis menggunakan *epoxy* resin sebagai bahan perekat dari karbon grafit untuk mendapatkan pellet komposit polimer dengan konduktivitas listrik yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun penulis, maka rumusan masalah yang di tentukan adalah :

1. Bagaimana proses pembuatan pellet *conducting polymer composite* dengan material karbon grafit dan pengikat *epoxy* resin ?
2. Berapakah perbandingan komposisi karbon grafit dan *epoxy* resin yang optimum dalam pembuatan pellet *conducting polymer composite* ?
3. Bagaimana mengetahui pengaruh komposisi pelet *conducting polymer composite* terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Dengan rumusan masalah yang telah disusun maka tujuan yang hendak di capai dalam penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui proses pembuatan pellet *conducting polymer composite* dengan material karbon grafit dan *epoxy resin*.
2. Untuk mendapatkan komposisi yang optimum dalam pembuatan pellet *conducting polymer composite*.
3. Untuk mendapatkan pengaruh komposisi pelet *conducting polymer composite* terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik.
4. Untuk mengetahui manfaat fuel cell terhadap energi terbarukan.

1.4 Batasan Masalah

Penulis membatasi penelitian ini agar tidak menyimpang dari materi pembahasan, dimana pembahasan meliputi :

1. Material yang digunakan serbuk karbon grafit densitas 2.2 g/cm^3 dan pengikat epoxy resin.
2. Komposisi karbon grafit dan pengikat epoxy resin yaitu (90:10)%, (80:20)%, dan (70:30)%.
3. Alat uji yang digunakan yaitu Alat uji mikrostruktur, konduktivitas listrik dan uji kekuatan bending.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya pengujian laboratorium diharapkan adanya manfaat dari penelitian ini, yaitu :

1. Pengembangan Akademis

Riset dan pengembangan dapat menerapkan ilmu yang telah dipelajari, memberi pengetahuan hasil penelitian kepada penulis dan pembaca sebagai

referensi pengembangan penelitian selanjutnya sehingga bermanfaat sebagai ilmu pengetahuan dan teknologi.

2. Pengembangan Industri

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi serta kemajuan industri sel bahan bakar (*fuel cell*) menggunakan bahan material karbon grafit sebagai bahan bakunya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas landasan teori yang diperoleh dari literatur melandasi dan mendukung penelitian ini. Memberikan pemahaman singkat melalui penjelasan umum, uraian pengertian dan teori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, dan prosedur dalam pembuatan serta pengujian untuk menganalisis data yang diperoleh.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil penelitian dan pembahasan serta analisa dari hasil data yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas kesimpulan dan saran berisikan simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang dapat mendukung pengembangan dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

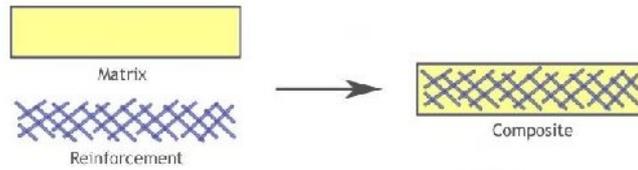
Komposit dapat kita artikan kombinasi antara dua maupun lebih, dari tiga bahan yang memiliki sejumlah sifat yang tidak mungkin dimiliki oleh masing-masing komponennya (Surdia, 2008).

Komposit adalah struktur yang dibuat dari bahan-bahan yang berbeda-beda, ciri-cirinya pun tetap terbawa setelah komponen terbentuk sepenuhnya. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Gabungan dua atau lebih bahan merupakan suatu konsep yang diperkenalkan untuk menerangkan definisi komposit. Walaupun demikian definisi ini terlalu umum, karena komposit ini merangkumi semua bahan termasuk plastik yang diperkuat dengan serat, logam *alloy*, keramik, kopolimer, plastik berpengisi atau apa saja campuran dua bahan atau lebih untuk mendapatkan suatu bahan yang baru.

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus *Young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*Reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang elastis tetapi lebih kaku serta lebih kuat.
2. Matriks, umumnya lebih elastis tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.



Gambar 2.1. Mekanisme Susunan Komposit

(Sumber : Schwarz M, 1984)

2.2 Klasifikasi Komposit

Klasifikasi bahan komposit dapat dibentuk dari sifat dan strukturnya. Bahan komposit dapat diklasifikasikan kedalam beberapa jenis. Secara umum klasifikasi komposit yang sering digunakan antara lain seperti :

1. Klasifikasi menurut kombinasi material utama, seperti *metal-organic* atau *metal anorganic*.
2. Klasifikasi menurut karakteristik *built-from*, seperti *system matrik* atau *laminat*.
3. Klasifikasi menurut distribusi unsur pokok, seperti *continous* dan *discontinous*.
4. Klasifikasi menurut fungsinya, seperti *electrical* atau *structural*.

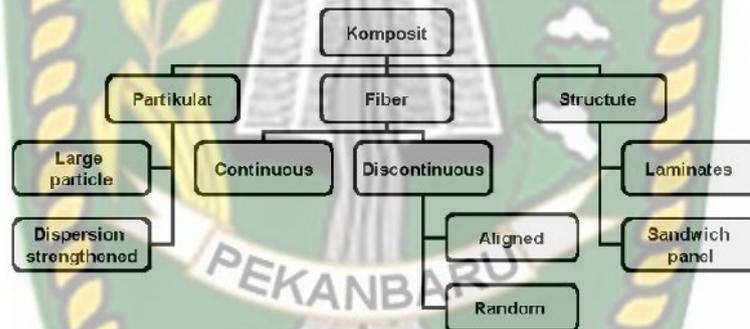
Secara umum bahan komposit terdiri dari dua macam, yaitu bahan komposit partikel (*particulate composite*) dan bahan komposit serat (*fiber composite*). Bahan komposit partikel terdiri dari partikel-partikel yang diikat oleh matrik. Bentuk partikel ini dapat bermacam-macam seperti bulat, kubik, tetragonal atau bahkan berbentuk yang tidak beraturan secara acak. Sedangkan bahan komposit serat terdiri dari serat-serat yang diikat oleh matrik. Bentuknya ada dua macam yaitu serat panjang dan serat pendek.

2.3 Bagian Utama Komposit

Bagian utama komposit terdiri dari beberapa yaitu *reinforcement* dan matrik. Adapun *reinforcement* dan matrik adalah :

2.3.1 Reinforcement

Salah satu bagian utama dari komposit adalah *reinforcement* (penguat) yang berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit seperti contoh serat. Serat (*fiber*) adalah suatu jenis bahan berupa potongan-potongan komponen yang membentuk jaringan memanjang yang utuh. Serat dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu serat alami dan serat sintesis.



Gambar 2.2. Pembagian komposit berdasarkan bentuk dari reinforcement-nya
 (Sumber : Nayiroh, 2015)

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu :

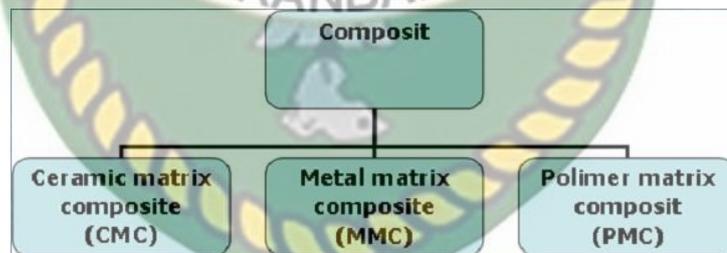
1. Komposit Partikel (*Particulate Composites*) merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.
2. Komposit Serat (*Fibrous Composites*) merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat (*fiber*). Serat (*fiber*) yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (polyaramide)*, dan sebagainya.

3. Komposit Laminat (*Laminated Composites*) merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.

Sehingga komposit dapat disimpulkan adalah sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan atau dikombinasikan dalam skala makroskopis (dapat terlihat langsung oleh mata) sehingga menjadi material baru yang lebih berguna.

2.3.2 Matriks

Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau dominan. Matriks dalam komposit berfungsi sebagai bahan mengikat serat menjadi sebuah unit struktur, melindungi dari perusakan eksternal, meneruskan atau memindahkan beban eksternal pada bidang geser antara serat dan matriks, sehingga matriks dan serat saling berhubungan.



Gambar 2.3 Pembagian Matriks

Pada gambar 2.3 Pembagian komposit berdasarkan bentuk dari matriknya secara garis besar ada 3 macam jenis komposit dengan penguat yang digunakannya, yaitu :

1. Komposit Matrik Keramik (*Ceramical Matrik Composite - CMC*)

Komposit matrik keramik merupakan material 2 fasa dengan 1 fasa berfungsi sebagai *reinforcement* dan satu fasa berfungsi sebagai matrik yang terbuat dari keramik. Pembuatan CMC ini yaitu dengan proses DIMOX dimana proses ini pembentukan komposit dengan reaksi oksidasi

leburan logam untuk pertumbuhan matrik keramik disekeliling area penguat (*filler*).

Matrik yang digunakan pada komposit matrik keramik ini adalah :

- a. Gelas anorganic
- b. Keramik gelas
- c. Alumina
- d. Silicon Nitrida

2. Komposit Matrik Logam (*Metal Matrik Composite* - MMC)

Komposit matrik logam merupakan salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material ini mulai dikembangkan dari tahun 1996. Pada awalnya yang diteliti adalah Continuous Filamen MMC yang digunakan dalam aplikasi aerospace.

Matrik pada komposit matrik logam ini adalah :

- a. Memiliki keuletan yang tinggi
- b. Memiliki titik lebur yang rendah
- c. Mempunyai densitas yang rendah

3. Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrik Composite* - PMC)

Bahan komposit matriks polimer ini adalah bahan komposit yang sangat sering kita digunakan, bahan ini menggunakan suatu polimer berbahan resin sebagai matriksnya dan suatu jenis serat seperti karbon, kaca dan aramid sebagai penguatnya.

Matrik yang digunakan pada komposit matrik polimer ini adalah :

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic merupakan plastik yang dilunakkan berulang kali (*recycle*) menggunakan panas. *Thermoplastic* ini merupakan polimer yang akan menjadi keras jika didinginkan. *Thermoplastic* akan meleleh pada suhu tertentu dan melekat mengikuti perubahan suhu yang mempunyai sifat dapat balik (*reversible*) kepada sifat aslinya yaitu dapat mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* ini seperti *polyester*, *nylon 66*, *PP*, *PTFE*, *PET*, *Polyester Sulfon*, *PES*, dan *Polyester Eterketon* (PEEK).

2. *Thermoset*

Thermoset merupakan plastic yang dilunakkan tidak bias berulang kali. *Thermoset* tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*Irreversible*). Pemanasan yang tinggi tidak akan melukakkan *thermoset* melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya sering digunakan sebagai tutup ketel seperti jenis-jenis melamin. Contoh dari *thermoset* ini seperti Epoksida, Bismaleimida (BMI) dan Poli-imida (PI).

Matriks juga memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Mentransfer tegangan ke serat
- b. Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- c. Melindungi serat.
- d. Memisahkan serat.
- e. Melepaskan ikatan
- f. Tetap stabil setelah proses manufaktur.



Gambar 2.4. Ilustrasi matriks pada komposit
(Sumber : Nayiroh, 2015)

2.4 Jenis-jenis Komposit

Ditinjau dari unsur pokok penyusun komposit, maka komposit dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain yaitu :

- a. Komposit lapis

Komposit lapis merupakan jenis komposit yang terdiri atas dua lapisan atau lebih yang digabung menjadi satu dimana setiap lapisannya memiliki

karakteristik berbeda. Sebagai contoh adalah *polywood Laminated Glass* yang merupakan komposit yang terdiri dari lapisan serat dan lapisan matriks.

b. Komposit Serpihan

Komposit serpihan terdiri atas serpih-serpih yang saling menahan dengan mengikat permukaan atau dimasukkan kedalam matriks. Sifat-sifat dengan khusus yang dapat diperoleh adalah bentuknya yang besar dan permukaannya yang datar.

c. Komposit serat

Komposit serat yaitu komposit yang terdiri dari serat dan matriks. Komposit jenis ini hanya terdiri dari satu lapisan. Serat yang digunakan dapat berupa serat sintesis (asbes, kaca, boron) atau serat organik seperti selulosa, polipropilena, polietilena bermodulus tinggi, sabut kelapa, ijuk dll.

d. Komposit partikel

Komposit partikel yang dihasilkan dengan menempatkan partikel-partikel dan sekaligus mengikatnya dengan suatu matriks bersama-sama. Contoh komposit partikel yang sering dijumpai adalah beton, dimana butiran-butiran pasir diikat bersama dengan matriks semen, komposit partikel.

2.5 Metoda Pembuatan Komposit

Secara garis besar metoda pembuatan material komposit ini terdiri dari beberapa bagian, diantaranya :

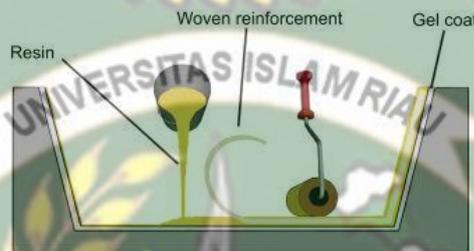
- a. Proses Cetakan Terbuka
- b. Proses Cetakan Tertutup

2.5.1 Proses Cetakan Terbuka

a. *Contact Molding/Hand Lay Up*

Hand lay Up dapat kita artikan metoda yang paling sangat sederhana dan merupakan proses dengan metoda terbuka dari proses fabrikasi komposit. Proses dari pembuatan dengan metoda ini adalah

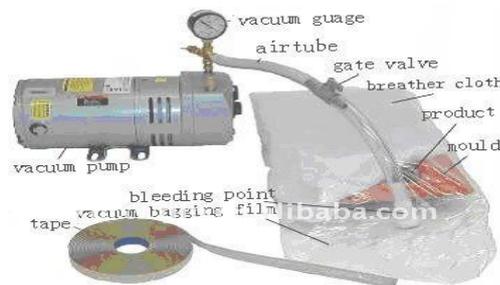
dengan beberapa trik, menyurahkan resin dengan tangan kedalam serat yang berbentuk anyaman, rajuan atau kain kemudian kita berikan tekanan sekaligus ratakannya menggunakan rol atau kuas. Pada metoda ini resin yang paling sering digunakan adalah *polyster* dan *expoxies*.



Gambar 2.5. Proses Pencetakan dengan Hand Lay Up
(Sumber : Marya Rji, 2019)

b. Vacuum Bag

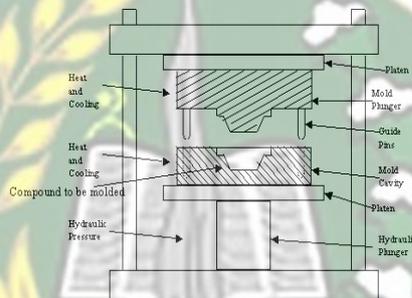
Pada proses *Vacuum Bag* ini merupakan bagian dari penyempurnaan dari *hand lay up* dimana pada proses ini dapat menghilangkan udara yang tertangkap dan kelebihan resin. Pada proses ini biasanya pompa *vacuum* untuk menghisap udara yang ada dalam tempat ditaruhnya komposit yang akan dilakukannya proses pencetakan. Dibandingkan *hand lay up*, metode *vacuum bag* ini memberikan penguatan pada konsentrasi yang lebih tinggi antara lain lapisan dan *control* yang lebih rasio kaca.



Gambar 2.6. Proses Pencetakan dengan Vacuum Bag
(Sumber : Schwardz M, 1984)

c. Pressure Bag

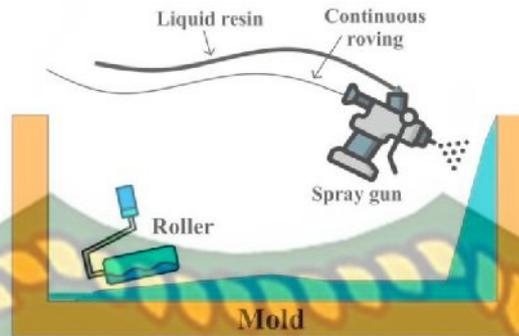
Pada proses *Pressure Bag* ini mempunyai kemiripan dengan *Vacuum Bag*, hanya saja cara ini lebih tidak menggunakan pompa *vacuum* akan tetapi menggunakan udara atau uap bertekanan yang kita masukkan melalui suatu tempat yang elastis. Biasanya tekanan yang diberikan pada proses ini adalah kisaran 30 sampai 50 psi.



Gambar 2.7. Proses Pencetakan dengan Pressure Bag
(Sumber : Schwarz M, 1984)

d. Spray-Up

Pada proses *Spray-Up* ini merupakan satu metode cetakan yang terbuka yang dapat memberikan bagian-bagian yang sangat kompleks dan lebih ekonomis disamping *hand lay Up*. Pada proses ini *spray-up* dilakukan dengan cara penyemprotan serat yang telah melalui tempat pemotongan. Sementara itu resin yang telah dicampuri katalis juga disemprotkan secara bersamaan pada pencetakan *spray-up* yang telah dipersiapkan.

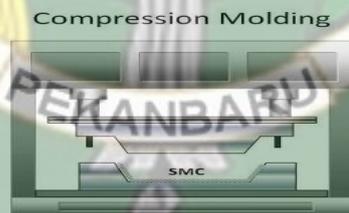


Gambar 2.8. Proses Pencetakan dengan Spray-Up
(Sumber : Eanoil Linul, Pradeep L. Menezes, Durgesh D. Pagar, Dipen Kumar Rajak, 2019)

2.5.2 Proses Cetakan Tertutup

a. Proses Cetakan Tekan (*Compression Molding*)

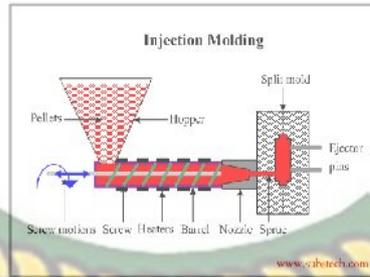
Pada proses cetakan ini harus menggunakan *hydraulic* untuk penekannya. Fiber yang telah dicampur resin dimasukkan kedalam rongga cetakan kemudian lakukan penekanan dan pemanasan.



Gambar 2.9. Proses Pencetakan dengan *Compression Molding*
(Sumber : Schwarz M, 1984)

b. *Injection Molding*

Pada proses cetakan ini dengan menyuntikkan bahan cair kedalam cetakan dan kemudian cetakan injeksi ini dapat dilakukan dengan sejumlah bahan terutama termasuk logam, gelas, elastomer, kionveksi dan polimer termoplastik dan termoset. Bahan untuk bagian yang dimasukkan kedalam tong dipanaskan lalu dicampur dan disuntikkan kedalam rongga cetakan.



Gambar 2.10. Proses Pencetakan dengan *Hand Injection Molding*

(Sumber :Schwardz M, 1984)

2.6 Karbon

Karbon merupakan unsur kimia yang mempunyai simbol C dengan nomor atom 6 dan termasuk unsur golongan IV A pada table periodik. Karbon merupakan unsur non-logam dan bervalensi 4 (tetravalen), yang berarti bahwa terdapat empat elektron yang dapat digunakan untuk membentuk ikatan kovalen.

Karbon merupakan salah satu bahan nano material yang saat ini sedang diteliti oleh banyak ilmuwan. Nanomaterial ini memiliki sifat fisis yang sangat menarik untuk diteliti oleh para ilmuwan diantaranya dapat mengalirkan arus listrik, memiliki sifat konduktivitas termal yang baik, dan sifat mekanik yang sangat kuat. Karbon merupakan salah satu material yang memiliki beragam bentuk, diantaranya karbon koloidal, *nanotube*, *fullerene*, *graphene*, *nanofiber*, *nanowire*, karbon aktif dan karbon grafit (Cui, 2010).

2.6.1 Alotrop Karbon

Alotrop karbon merupakan senyawa yang terbentuk dari atom unsur karbon dengan struktur yang berbeda. Grafit, intan, *fullerene* dan karbon amorf merupakan contoh dari alotrop karbon. Semua alotrop karbon berbentuk padat dalam kondisi normal, tetapi grafit merupakan alotrop karbon yang paling stabil secara termodinamik diantara alotrop-alotrop lainnya.

2.6.2 Grafit

Grafit merupakan alotrop karbon yang dapat menghantarkan arus listrik dan panas dengan baik. Karena sifat inilah grafit biasanya digunakan sebagai elektroda pada sel elektrolisis. Dalam struktur grafit setiap atom karbon membentuk ikatan kovalen dengan tiga atom karbon lainnya membentuk susunan heksagonal dengan struktur berlapis seperti tumpukan kartu. Karena atom karbon memiliki 4 elektron valensi maka pada setiap atom karbon masih terdapat satu elektron yang belum berikatan (elektron bebas).



Gambar 2.11. Serbuk Karbon Grafit
(Sumber : Akbar, 2016)

Sifat daya hantar listrik yang dimiliki oleh grafit dipengaruhi oleh elektron-elektron yang tidak digunakan untuk membentuk ikatan kovalen. Elektron-elektron ini tersebar secara merata pada setiap atom C karena terjadi tumpang tindih orbital seperti pada ikatan logam yang membentuk awan atau lautan elektron. Oleh sebab itu ketika diberi beda potensial, elektron-elektron yang terdelokalisasi sebagian besar akan mengalir menuju anoda (kutub Positif), aliran elektron inilah yang menyebabkan arus listrik dapat mengalir. Sedangkan ketika salah satu ujung dipanaskan maka elektron-elektron ini akan segera berpindah menuju bagian grafit yang memiliki suhu lebih rendah. Struktur grafit seperti yang tertera pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.12. Struktur grafit
(Sumber : Smallman dan Bishop, 2000)

2.6.3 Sifat dan kegunaan grafit

Grafit memiliki beberapa sifat dan kegunaan diantaranya sebagai berikut :

1. Memiliki titik leleh tinggi. Hal ini disebabkan ikatan kovalen yang terbentuk sangat kuat sehingga diperlukan energi yang tinggi untuk memutuskannya.
2. Memiliki sifat lunak, terasa licin dan digunakan pada pensil setelah dicampur tanah liat.
3. Tidak larut dalam air dan pelarut organik, karena tidak mampu mensolvasi molekul grafit yang sangat besar.
4. Grafit memiliki massa jenis yang kecil, karena pada strukturnya terdapat ruang-ruang kosong antara lipatnya.
5. Berupa konduktor listrik dan panas yang baik. Karena sifat ini grafit digunakan sebagai anoda pada baterai (*sel leclanche*) dan sebagai elektroda pada sel elektrolisis.

Tabel 2.1 Sifat Grafit

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas	g/cm ³	2,2
Bentuk Allotropik	-	Kristalin
Titik Lebur	°C	3700 100
Titik Didih	°C	4830
Sifat Thermal		
Konduktivitas Panas	Kal/gram °C	0,057
Tahanan Listrik	Ohm	1,375 x 10 ⁶

(Sumber : Acrylonotril, 2006)

2.7 Jenis-jenis resin

Molekul besar (*makro molekul*) yang terbangun oleh susunan unit ulangan kimia yang kecil sederhana dan terikat oleh kovalen. Unit ulangan ini biasanya setara atau hamper setara dengan *monomer* yaitu bahan awal dari polimer. Sumber polimer dibagi dua yaitu alami seperti Pati, Selulosa, Protein, Lipid, Asam Nukleat dan Sintetik contohnya Polietilena, Polivinil Klorida. Cara pembuatan dibagi menjadi dua proses yaitu polimer adisi dan polimer kondensasi.

2.7.1 Resin Epoxy

Resin *epoxy* sangat banyak digunakan untuk keperluan seperti pengecoran dan kemudian dapat digunakan untuk *protector* alat listrik maupun digunakan sebagai campuran cat. Karena resin ini sangat tahan beban kejut maka dalam penggunaannya sering digunakan untuk pembuatan cetakan tekan, panel-panel sirkuit untuk kelistrikan, tangka dan jig.

Epoxy adalah resin polimer termoseting dimana molekul resin mengandung satu atau lebih gugus epoksida. Kimia ini dapat disesuaikan untuk menyempurnakan berat molekul atau viskositas seperti yang dipersyaratkan oleh

penggunaan akhir. Ada dua jenis utama *epoxy*, glikidil *epoxy* dan non-glikidil. Glycidyl *epoxy* resin dapat didefinisikan lebih lanjut sebagai glikidil-amina, glikidil ester, atau glikidil eter. *Epoxy* resin non-glikidil adalah resin alifatik atau siklo-alifatik.

Salah satu resin glikidil *epoxy* yang paling umum dibuat menggunakan Bisphenol-A dan disintesis dalam reaksi dengan epiklorohidrin. Jenis *epoxy* lain yang sering digunakan dikenal sebagai *epoxy* resin novolac.

Jika dibandingkan dengan termoset tradisional atau resin termoplastik lainnya, *epoxy* resin memiliki kelebihan yang berbeda, termasuk:

- a. Penyusutan rendah selama curing.
- b. Tahan kelembaban yang luar biasa.
- c. Resistensi kimia yang sangat baik.
- d. Sifat listrik yang baik.
- e. Meningkatkan kekuatan mekanik.
- f. Tahan benturan.
- g. Tidak ada VOC.
- h. Umur simpan yang panjang.

2.7.2 Resin Amino

Resin amino adalah resin termoset yang dibentuk oleh kopolimerisasi senyawa amino dengan aldehida. Resin amino digunakan dalam panel kayu, pelapis, laminasi, senyawa cetakan, perekat dan industri lainnya. Resin amino sebagian besar digunakan sebagai perekat dalam panel kayu seperti papan pertikel, MDF, kayu lapis dan lain-lain. Kinerja tinggi resin amino dalam hal kekuatan dan ketahanan pada panel kayu adalah penggerak utama pasar resin amino.

2.7.3 Resin Furan

Resin furan adalah oligomer thermosetting cair yang mengalami raksi ikatan silang ketika dipanaskan dan dicampur dengan katalis. Terutama dibuat dengan polimerisasi kondensasi *alcohol furfuryl biobased* dan turunannya dihadapan asam kuat. Untuk meningkatkan atau memodifikasi sifat-sifat mereka, mereka sering dikopolimerisasi dengan monomer lain seperti *formaldehida, fenol* dan *furfural*. Resin-resin ini tersedia dalam berbagai viskositas yang dapat menyembuhkan polimer yang memiliki ikatan silang tinggi.

2.7.4 Resin Silikon

Resin polimer dengan sifat silicon sebagai bahan dasar mempunyai sifat yang tentunya berbeda dengan bahan dasar plastik (atom karbon) lainnya. Sifat yang spesifiknya adalah untuk tahan terhadap suhu yang lebih tinggi (stabilitas). Kadap air oleh karena itu sering digunakan untuk permakaian membuat minyak gemuk/fat resin perekat dan kemudian karet sintesis.

2.7.5 Resin Polyester

Resin *polyester* adalah resin sintesis tak jenuh yang dibentuk oleh reaksi asam *organic dibasic* dan *alcohol plohidrik, meleic anhydride* adalah bahan baku yang umum digunakan dengan fungsi diasid. Resin ini dikenal untuk pembuatan kapal, resin ini cukup banyak dijual dipasaran khususnya di Indonesia dengan warna yang tentunya berbeda-beda. Proses pengerasan resin ini adalah resin akan memulai mengeras setelah dicampur dengan katalis yang biasanya dijual sepaket dengan resin *polyester* dan dalam waktu 5-10 menit maka resin akan mengeras.

2.7.6 Resin Akrilik

Resin akrilik ini memiliki daya tembus cahaya yang sangat baik dan kemudian resin akrilik ini sangat tahan terhadap kelembaban. Akrilik berasal dari bahasa latin yaitu *acrolain* yang berarti bau yang tajam. Bahan ini berasal dari Asam Acrolain atau gliserin aldehida. Secara kimia dinamakan polimetil metakrilat yang terbuat dari minyak bumi, gas bumi atau arang batu. Bahan ini disediakan untuk kedokteran gigi berupa cairan (monomer) monometil metakrilat dan dalam bentuk bubuk (polimer) polimetil metakrilat.

Penggunaan resin akrilik ini biasa dipakai sebagai bahan denture base, landasan pesawat orthodontik (orthodontik base), basis gigi tiruan, pembuatan anasir gigi tiruan (artificial teeth) dan sebagai bahan restorasi untuk mengganti gigi yang rusak.

Resin akrilik adalah resin termoplastis, merupakan persenyawaan kompon non metalik yang dibuat secara sintesis dari bahan-bahan organik. Resin ini dapat dibentuk selama masih dalam keadaan plastis dan mengeras apabila dipanaskan karena terjadi reaksi polimerisasi adisi antara polymer dan monomer. Berdasarkan polimerisasinya, resin acrylic dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Heat Cured Acrylic (membutuhkan pemasakan pada pengolahannya untuk membantu proses polimerisasinya).
2. Self Cured Acrylic (dapat berpolimerisasi sendiri pada temperatur ruang).
3. Light Cured Acrylic Resin.

2.7.7 Resin Vinil

Resin Vinil berbeda dengan resin-resin lainnya karena resin ini sangat mudah untuk kita jumpai dipasaran. Resin ini sebagai (*polivinil klorida*) *polivinil* yang artinya butiran dan *poliviniliden klorida* yang melalui suatu

proses cetak lalu ditekan. Resin ini dapat menghasilkan lembaran untuk pelapis permukaan yang kaku maupun fleksibel.

2.7.8 Resin Damar (Lem Kopal)

Kopal adalah hasil olahan getah (resin) yang disadap dari batang damar (*agasthis alba* dan beberapa *agasthis* lainnya) serta dari batang pohon anggota suku *Burseraceae* (*Bursera*, *protium*). Getah ini telah dimanfaatkan berbagai bidang, antara lain cat, tinta, pernis, kemenyan, dan bahan perekat seperti kapal. Kopal mencakup sekelompok besar resin yang ditandai dengan kekerasan dan titik leleh yang relatif tinggi. Mereka adalah salah satu jenis resin alami terbaik untuk digunakan dalam pernis dan cat formulasi dan merupakan bahan dasar bagi cairan pelapis kertas supaya tinta tidak menyebar.

2.8 Pengujian Komposit

Adapun jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian konduktivitas listrik dan *bending strength* sebagai berikut :

2.8.1 Pengujian Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik adalah suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Konduktivitas listrik merupakan sifat material yang berbanding terbalik dengan resistivitas listrik. Konduktivitas listrik dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1}{K} \quad \text{pers.....(2.1)}$$

Dimana:

σ = Konduktivitas Listrik (S/cm)

K = Resistivitas Listrik (Ω /cm)

Resistivitas listrik berbanding terbalik dengan konduktivitas listrik. Untuk mengukur konduktivitas dan resistivitas listrik digunakan metode *two point probe* dengan alat LCR meter. Metode ini mudah diimplementasikan karena

hanya menggunakan dua probe pada pengukurannya. Pada pengukuran resistivitas akan didapatkan resistansi total, namun yang ingin didapatkan adalah resistansi sampel (Schoder, 2006). Besaran fisis yang terukur pada LCR meter adalah konduktansi (G), kemudian untuk mendapatkan nilai konduktivitas (σ) digunakan hubungan:

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{A} \times G \quad \text{pers.....(2.2)}$$

Dimana:

L = Tebal bahan (cm)

A = Luas alas pellet (cm²)

R = Resistansi (ohm)

G = Konduktansi (Siemens)

Σ = Konduktivitas Listrik (S/cm)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Yunasfi dkk, (2011), dan Karvitas dkk, (2004), diketahui bahwa nilai konduktivitas suatu material akan meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas merupakan fungsi dari frekuensi. Kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi dikenal dengan istilah *Universal Frequency*. Salah satu model persamaan yang dapat digunakan adalah :

$$\sigma = \omega \varepsilon \varepsilon' \quad \text{pers.....(2.3)}$$

Dimana:

σ = Konduktivitas Listrik (S/cm)

ω = Kecepatan Sudut

ε = Permittivitas (8,85x10⁻¹⁴F/cm)

ε' = Kehilangan dielektrik

2.8.2 Pengujian Bending Strength

Pengujian lengkung (*bending*) merupakan salah satu pengujian sifat mekanik bahan, baik yang akan digunakan sebagai konstruksi atau komponen yang akan menerima pembebanan lengkung maupun proses pelengkungan dalam

pembentukan, pelengkungan (*bending*) merupakan proses pembebanan terhadap suatu bahan pada suatu titik ditengah-tengah dari bahan yang ditahan diatas dua tumpuan. Pengujian lengkung ialah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui aspek-aspek kemampuan bahan uji dalam menerima pembebanan lengkung, yakni:

1. Kekuatan atau tegangan lengkung (σ)
2. Lentur atau defleksi (δ) sudut yang berbentuk oleh lenturan atau sudut defleksi
3. Elastisitas (E) (Prayoga,2012)

Pada perlakuan uji bending bagian atas specimen mengaslami proses penekanan dan bawah mengalami proses Tarik sehingga akibatnya sepsimen menglamipatah bagiah bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik.

Point bending ini memiliki 2 tipe, yaitu *three point bending* dan *four point bending*. Perbedaan dari kedua cara pengujian ini hanya terletak dari bentuk dan jumlah point yang digunakan.

1. Three Point Bending

Three point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekanan.



Gambar 2.13 *Three Point Bending*

(Sumber : Khamid, 2011)

Perhitungan yang digunakan (Conshohocken, 2011)

$$\sigma_f = \frac{3.FL}{2bd^2}$$

pers.....(2.4)

Dimana:

σ_f = tegangan *bending* (kgf/mm²)

F = gaya pembebanan Beban atau Gaya yang terjadi (kgf)

L = Jarak Point (mm)

b = Beban Benda Uji (mm)

d = Ketebalan Benda Uji (mm)

2. *Four Point Bending*

Four point bending adalah cara pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 2 penekanan.

Perhitungan yang digunakan (Conshohocken, 2011)

$$\sigma_f = \frac{3.FL}{4bd^2}$$

pers.....(2.5)

Dimana:

σ_f = tegangan *bending* (kgf/mm²)

F = gaya pembebanan Beban atau Gaya yang terjadi (kgf)

L = Jarak Point (mm)

b = Beban Benda Uji (mm)

d = Ketebalan Benda Uji (mm)

Selain itu juga terdapat bebrapa kelebihan dan kelemahan dari dua tipe tersebut pada table dibawah ini.

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kelemahan Metode Uji *Three Point Bending* dan *Four Point Bending*

<i>Three Point Bending</i>	<i>Four Point Bending</i>
Kelebihan	
+ Kemudahan persiapan spesimen dan pengujian + Pembuatan proses lebih mudah	+ Penggunaan rumus perhitungan lebih mudah + Lebih akurat hasil pengujiannya
Kekurangan	
- Kesulitan menentukan titik tengah persis, karena jika posisi tidak di tengah persis penggunaan rumus berubah - Kemungkinan terjasi pergesaran, sehingga benda yang diuji pecah/patah tidak tepat di tengah maka rumus yang digunakan kombinasi tegangan lengkung dengan tegangan geser	- Pembuatan point lebih rumit - 2 <i>point</i> atas harus bersamaan menekan benda uji. Jika salah satu <i>point</i> lebih dulu menekan benda uji maka terjadi <i>three point bending</i> , sehingga rumus yang digunakan berbeda

(Sumber : Khamid, 2011)

2.8.3 Pengamatan Mikrostruktur

Pengamatan strukturmikro merupakan gambaran dari kumpulan fasa fasa yang dapat diamati dengan cara metalografi. Struktur mikro suatu specimen uji dilihat dengan menggunakan alat uji mikroskop.

2.9 Fuel Cell

Fuel cell bekerja berdasarkan prinsip bakaran listrik kimiawi, *cell* ini akan memproduksi energi listrik arus searah. *Fuel cell* ini terdiri dari elektrolit yang memisahkan katoda dari anoda, elektrolit hanya dapat menghantar ion saja, sedangkan elektron tidak dapat melewati elektrolit, jadi elektrolit ini bukan penghantar listrik dan juga menghindarkan terjadinya reaksi kimia. Pada anoda akan dialirkan secara berkesinambungan bahan bakar dan pada kattoda dialirkan oksigen, pengaliran ini dilakukan secara terpisah. Karena pengaruh katalisator pada elektroda, maka molekul-molekul dari gas yang dialirkan akan berubah menjadi ion. Reaksi pada anoda katoda elektron yang bebas akan diikat.

Elektron elektron bebas yang terjadi harus dialirkan keluar melalui penghantar menuju ke anoda, agar proses listrik kimiawi dapat berlangsung. Panas yang timbul dari hasil reaksi kimia harus terus menerus dibuang, agar energi listrik dapat terbentuk secara kontinyu.

Reaksi kimia pada fuel cell.



Pada anoda hidrogen di oksidasi menjadi proton:



Setiap molekul H_2 terpecahkan menjadi dua atom H (proton), sedang setiap atom hidrogen melepaskan elektronnya. Proton ini akan bergerak menuju katoda melewati membran. Elektron yang terbentuk akan menghasilkan arus listrik kalau

dihubungkan dengan penghantar listrik menuju katoda. Pada katoda oksigen dirubah:



Molekul oksigen akan bergabung dengan empat elektron, menjadi ion oksigen yang bermuatan negatif untuk selanjutnya bergabung lagi dengan proton yang mengalir dari anoda. Setiap ion oksigen akan melepaskan kedua muatan negatifnya dan bergabung dengan dua proton, sehingga terjadi *oksidasi* menjadi air.

2.10 Jenis-jenis Fuel Cell

Jenis pada *fuel cell* ditentukan oleh material yang digunakan sebagai elektrolit yang mampu menghantar proton. Pada saat ini ada 6 jenis fuel cell yaitu:

Tabel 2.3 Jenis-jenis Fuel Cell, Karakteristik, dan Penggunaan

Jenis	Elektrolit	Temperatur Operasi [°C]	Karakteristik	Penggunaan
Alkaline (AFC)	Kalilauge (KOH)	60 – 120	Efisiensi energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO ₂	Pesawat ruang angkasa, kendaraan
Polymer Exchange Mem-brain (PEM)	Polymer Elektrolit (H ⁺)	60 – 100	Kerapatan energi tinggi, memiliki kepekaan terhadap CO (<100ppm)	Kendaraan (sedan, bis, minivan), stasiun pembangkit panas
Phosphoric Acid Fuel	Phosphor Acid (H ⁺)	160 – 200	Efisiensi energi terbatas,	Stasiun pembangkit

Cell (PAFC)			peka terhadap CO (<1,5% vol)	panas, kendaraan
Molten Carbonate (MCFC)	Molten Carbonate (CO ₃ ²⁺)	500 – 650	Problem korosi	Stasiun pembangkit energi panas, pembangkit energi listrik
Solid Oxyde (SOFC)	Lapisan keramik (O ²⁺)	800 – 1000	Efisiensi sistem tinggi, temperatur operasi perlu diturunkan	Pembangkit energi panas, penggabung stasiun pembangkit dengan turbin gas
Direct Methanol Fuel Cell (DMFC)	Elektrolit Polymer (H ⁺)	60 – 120	Efisiensi sistem tinggi, peka terhadap hasil oksidasi di anoda	Kendaraan

(Sumber : Hendra Suhada, 2001)

Dari tabel 2.3 dapat dilihat jenis dari pada elektrolit untuk masing-masing *fuel cell* dan operasi temperatur, karakteristik dan penggunaannya. *Fuel cell* mempunyai efisiensi yang cukup tinggi, dari 40% sampai 70%, tergantung pada jenis fuel cell, yang paling tinggi adalah alkaline (AFC), Solid oxyde (SOFC), direct methanol fuel cell (DMFC) dan regenerative fuel cell.

Fuel cell memiliki kepekaan terhadap zat zat tertentu seperti CO₂, CO, korosi dan produk oksidasi. Penggunaan dari pada *fuell cell* ini terutama untuk

menghasilkan energi yang dipakai pada program angkasa luar, *power station* penghasil listrik atau energi panas dan untuk kendaraan.

2.11 Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell (PEMFC)

Polymer Elekrtoyte Membrane Fuel Cell memiliki kemampuan untuk bekerja pada temperatur yang sangat rendah yaitu temperatur 40-80°C, dimana hal ini merupakan daya tarik utama dari *Polymer Electrolyte Membrane* (PEM). PEMFC juga memiliki kemampuan untuk menghantarkan densitas tenaga daya yang tinggi pada temperatur tersebut, PEMFC dapat dibuat lebih kecil dan dapat mengurangi berat keseluruhan, biaya untuk produksi dan volume spesifik.

Polymer Electrolyte Membrane (PEM) memiliki membran elektrolit yang terimmobilisasi yang merupakan penyederhanaan pada proses produksinya sehingga dapat menurunkan korosi, hal ini menghasilkan umur hidup stack yang lebih panjang. Membran proton immobilisasi ini merupakan kation solid-state yang mentransfer secara medium. Jenis polimer yang digunakan untuk membran tidak memiliki batasan, namun pada umumnya digunakan membran nafion (Rayment dan Sherwin, 2003).

2.12 Pelat Bipolar

Pelat bipolar juga disebut dengan sebutan *flow field plate* atau pelat separator. Pelat bipolar ini memiliki dua fungsi utama, yaitu mengalirkan gas reaktan menuju gas *diffusion layer* melalui *flow channel* dan mengalirkan electron dari anoda menuju katoda. Selain menggunakan komposit dan grafit, pelat bipolar juga dapat dibuat dari logam (aluminium, stainlessstel, titanium, dan nikel).

Sifat sifat yang diperlukan untuk membuat sebuah pelat bipolar adalah sebagai berikut:

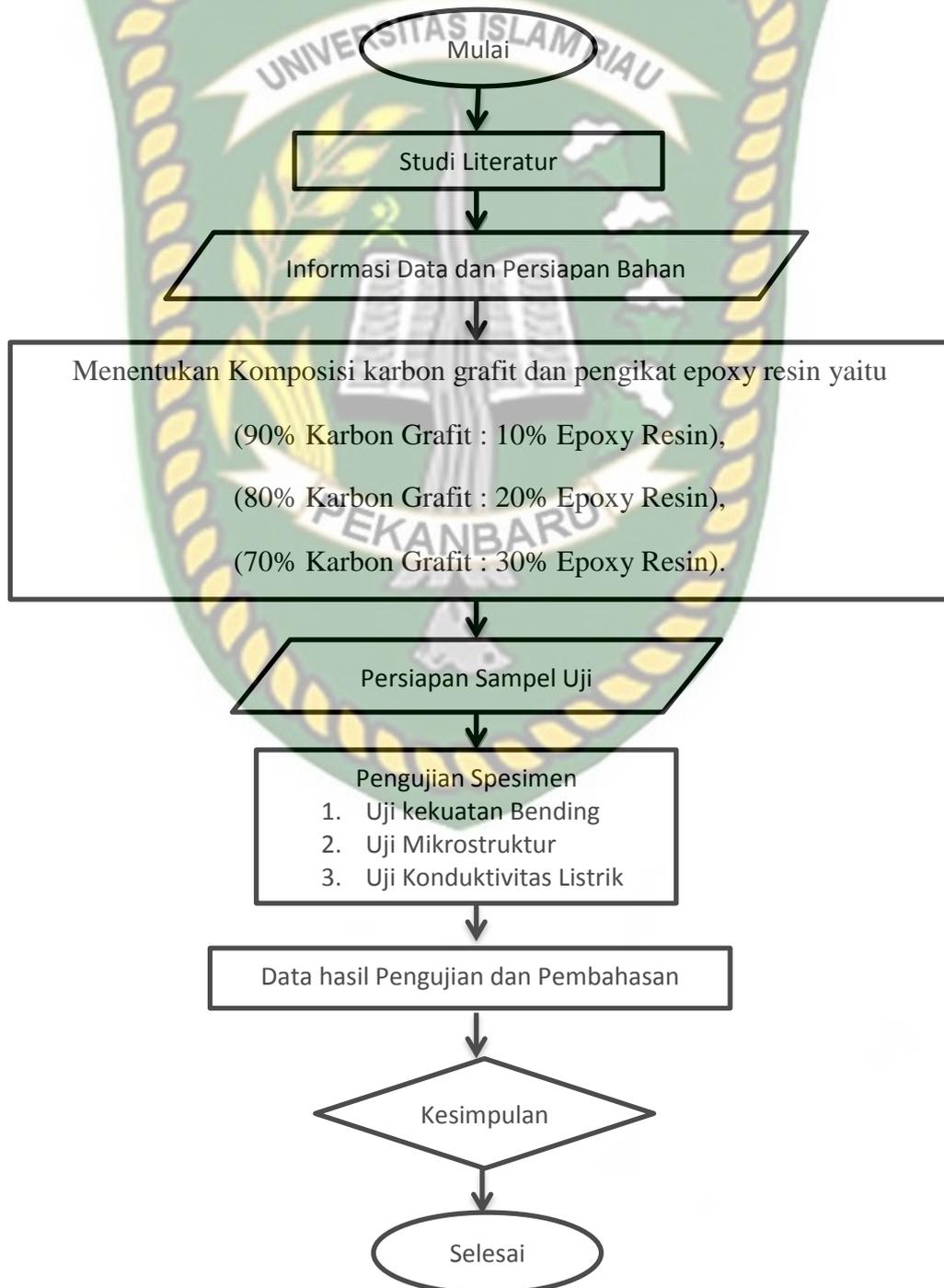
- a. Konduktivitas listrik yang baik ($>100 \text{ S/cm}$).
- b. Konduktivitas termal yang tinggi ($>20 \text{ W/cm}$).
- c. Stabilitas mekanik terhadap pembebanan.
- d. Permeabilitas gas yang rendah.
- e. Material yang murah untuk diproduksi misal.
- f. Berat yang ringan.
- g. Volume yang kecil.
- h. Material yang dapat di daur ulang.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penulis melakukan penelitian ini secara sistematis dan juga berurutan, seperti yang terlihat pada diagram alir sebagai berikut:



3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dari pembuatan pelet komposit polimer dengan bahan campuran karbon grafit dengan epoksi resin. Lalu kemudian dilakukan pembentukan atau pengepresan pellet hingga menjadi bentuk sesuai yang diinginkan lalu melakukan pengujian bending strenght terhadap pelet komposit polimer tersebut, lalu kemudin melakukan pengujian konduktivitas listrik.

Utuk pembuatan pellet komposit polymer ini dilakukan di kampus Universitas Islam Riau dan penulis melakukan pengujian *bending strength* di Laboratorium Politeknik Kampar, selanjutnya untuk konduktivitas listrik, dan pengamatan mikrostruktur penulis melakukan pengujian di Laboratorium Universitas Islam Riau.

3.3 Alat Dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

3.3.1 Alat

1. Cetakan

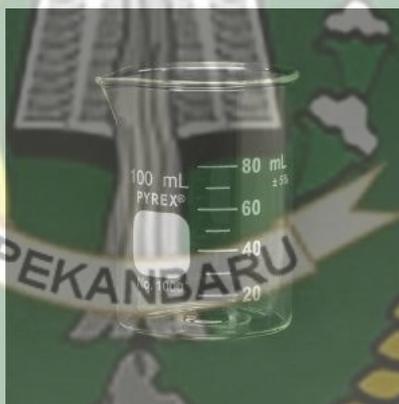
Cetakan seperti pada gambar 3.1 ini digunakan untuk membentuk karbon grafit dengan epoxy resin menjadi sebuah pellet komposit polimer, dimana cetakan ini nantinya ditekan dengan mesin press hidrolis untuk membuat pellet tersebut merekat dengan baik.



Gambar 3.1 Cetakan

2. Gelas Ukur Laboratorium Kimia

Gelas ukur laboratorium kimi (Breaker glass pyrex), seperti pada gambar 3.2 digunakan untuk menampung, mencampur, dan memanaskan cairan kimia yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Gelas Ukur

3. Spatula

Spatula seperti pada gambar 3.3 berfungsi untuk mengambil dan mengaduk bahan kimia yang akan dicampur dengan bahan kimia lainnya. Sisi spatula yang berbentuk sendok makan berfungsi untuk mengambil bahan kimia sedangkan sisi spatula berbentuk pipih digunakan untuk mengaduk campuran bahan kimia tersebut.



Gambar 3.3 Spatula

4. Timbangan Analitik

Timbangan analitik seperti pada gambar 3.4 digunakan untuk mengukur jumlah massa bahan kimia yang akan dicampurkan. Timbangan ini mampu menimbang massa hingga (1 gram = 1000mg).



Gambar 3.4 Timbangan Analitik

5. Sarung Tangan Kimia

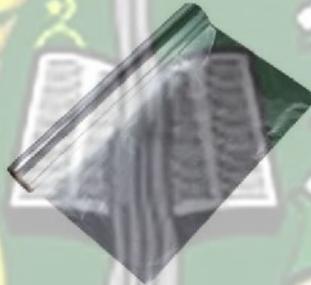
Sarung tangan seperti pada gambar 3.5 ini berbahan karet yang digunakan untuk melindungi tangan dari bahan kimia yang dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.



Gambar 3.5 Sarung tangan kimia

6. Kertas Alumunium

Kertas alumunium seperti pada gambar 3.6 ini berfungsi untuk memisahkan sentuhan langsung bahan kimia yang akan di rekatkan dengan permukaan cetakan, agar tidak lengket.



Gambar 3.6 Kertas Alumunium

7. Mesin Press Hidrolik

Mesin press hidrolik seperti pada gambar 3.7 ini memiliki spesifikasi HP-100, kapasitas 1000 KN, tekanan 31.5 MPA, motor power 3 KW. Press hidrolik berfungsi untuk menekan cetakan agar bahan kimia yang dicampurkan merekat dan tercetak dengan baik.



Gambar 3.7 Mesin Press Hidrolik

8. Alat Uji Mikrostruktur

Alat uji mikrostruktur seperti pada gambar 3.8 ini memiliki perbesaran 50x – 1250x dengan sistem pencahayaan kohler tercermin kuat 100W. alat ini berfungsi untuk mengetahui struktur bahan dan juga melihat partikel partikel pada bagian dalam bahan tersebut.



Gambar 3.8 Alat Uji Mikrostruktur

9. Alat Uji Bending Strength

Alat uji bending strength seperti pada gambar 3.9 ini memiliki beban resolusi 1/200.000, beban akurasi $\pm 0.5\%$ FS, lebar Efektif 400 mm, kapasitas 10 kN (1000kgf). Alat ini berfungsi untuk menentukan mutu suatu material secara visual dengan cara menekan salah satu titik bagian dari material tersebut.



Gambar 3.9 Alat Uji Bending Strengt

10. Alat Uji Konduktivitas Listrik

Alat Uji konduktivitas listrik seperti pada gambar 3.10 ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan listrik yang terkandung pada spesimen yang akan di uji.



Gambar 3.10 Alat Uji Konduktivitas Listrik

3.3.2 Bahan

1. Karbon Grafit

Bahan ini digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan pellet komposit polimer ini dimana nantinya bahan ini dicampur dengan bahan komposit karbon grafit dan epoxy resin sebagai bahan perekat (90:10)%, (80:20)%, dan (70:30)% agar dapat dibentuk menjadi seperti lempengan tipis sesuai dengan yang diinginkan.

Gambar 3.10. Grafit

(Sumber : Akbar, 2016)

Tabel 3.1 Sifat Karbon Grafit

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas	g/cm ³	2,2
Bentuk Allotropik	-	Kristalin
Titik Lebur	°C	3700 100
Titik Didih	°C	4830
Sifat Thermal		
Konduktivitas Panas	Kal/gram °C	0,057
Tahanan Listrik	Ohm	1,375 x 10 ⁶

(Sumber : Acrylonotril, 2006)

2. Epoxy Resin

Epoxy resin sangat banyak digunakan untuk keperluan seperti pengecoran dan kemudian dapat digunakan untuk *protector* alat listrik maupun digunakan sebagai campuran cat. Karena resin ini sangat tahan beban kejut maka dalam penggunaannya sering digunakan untuk pembuatan cetakan tekan, panel-panel sirkuit untuk kelistrikan, tangka dan jig.

Epoxy adalah resin polimer termoseting dimana molekul resin mengandung satu atau lebih gugus epoksida. Kimia ini dapat disesuaikan untuk menyempurnakan berat molekul atau viskositas seperti yang dipersyaratkan oleh penggunaan akhir. Ada dua jenis utama *epoxy*, glikidil *epoxy* dan non-glikidil. Glycidyl *epoxy* resin dapat didefinisikan lebih lanjut sebagai glikidil-amina, glikidil ester, atau glikidil eter. *Epoxy* resin non-glikidil adalah resin alifatik atau siklo-alifatik.

3.4 Penentuan Fraksi Volume

Dalam proses pembuatan komposit polymer, gabungan dari karbon grafit dengan epoxy resin sebagai bahan perekat, untuk uji bending, mikrostruktur dan konduktivitas listrik membutuhkan sebuah cetakan. Agar komposit yang dicetak merekat dengan baik dan memiliki ukuran yang sama.

3.4.1 Volume Cetakan

Dengan cetakan yang memiliki diameter dalam 25.45 mm, maka volume cetakan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_c = \pi \times r^2 \times t \quad \text{Pers.....(3.1)}$$

Dimana :

$$\pi = 3.14$$

$$r^2 = 1.27^2 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$t = 1.0 \text{ (cm)}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 3.14 \times 1.27^2 \text{ cm}^2 \times 1.0 \text{ cm} \\
 &= 5.08 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

3.4.2 Volume Spesimen

Massa jenis epoxy resin ($\rho = 1.13 \text{ g/cm}^3$)

Massa jenis karbon grafit ($\rho = 2.26 \text{ g/cm}^3$)

$$100\% \text{ epoxy resin} = V_c \times \rho \text{ epoxy resin}$$

$$= 5.08 \text{ cm}^3 \times 1.20 \text{ g/cm}^3$$

$$= 5.74 \text{ g}$$

$$\begin{aligned}
 100\% \text{ karbon grafit} &= V_c \times \rho \text{ karbon grafit} \\
 &= 5,08 \text{ cm}^3 \times 2.26 \text{ g/cm}^3 \\
 &= 11.48 \text{ g}
 \end{aligned}$$

a. Spesimen 1

Campuran 90% epoxy resin dan 10% karbon grafit.

$$\begin{aligned}
 \text{Karbon grafit} &= 90\% \times 11.48 \text{ g} \\
 &= 10.33 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Epoxy resin} &= 10\% \times 5.74 \text{ g} \\
 &= 0.574 \text{ g}
 \end{aligned}$$

b. Spesimen 2

Campuran 80% epoxy resin dan 20% karbon grafit.

$$\begin{aligned}
 \text{Karbon grafit} &= 80\% \times 11.48 \text{ g} \\
 &= 9.18 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Epoxy resin} &= 20\% \times 5.74 \text{ g} \\
 &= 1.14 \text{ g}
 \end{aligned}$$

c. Spesimen 3

Campuran 70% epoxy resin dan 30% karbon grafit.

$$\begin{aligned}
 \text{Karbon grafit} &= 70\% \times 11.48 \text{ g} \\
 &= 8.03 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Epoxy resin} &= 30\% \times 5.74 \text{ g} \\
 &= 1.72 \text{ g}
 \end{aligned}$$

3.5 Prosedur Pembuatan dan Pengujian

Adapun langkah-langkah dari prosedur pembuatan dan pengujian pellet komposit polimer ini sebagai berikut:

3.5.1 Pembuatan Pellet komposit Polimer

Dalam pembuatan pellet komposit polimer ini, penulis menggabungkan karbon grafit dengan epoksi resin sebagai bahan perekat dengan komposisi (90:10)%, (80:20)%, dan (70:30)%.

Kemudian pellet komposit polimer tersebut dicetak menggunakan cetakan tertutup, lalu kemudian dilakukan pengepresan agar karbon grafit dengan epoksi resin merikat dengan baik.

3.5.2 Pengujian Konduktivitas Listrik

Konduktivitas listrik berbanding terbalik dengan resistivitas listrik. Untuk mengukur konduktivitas listrik digunakan metode *two point probe* dengan alat LCR meter. Metode ini mudah diimplementasikan karena hanya menggunakan dua *probe* pada pengukurannya.

Besaran fisis yang terukur pada LCR meter adalah konduktansi (G), kemudian untuk mendapatkan nilai konduktivitas digunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{1}{R} = \frac{L}{A} \times G \quad \text{pers.....(3.2)}$$

Dimana :

L = Tebal Bahan (cm)

A = Luas Alas Pellet (cm²)

R= Resistensi (ohm)

G = Konduktansi (Siemens)

Σ = Konduktivitas Listrik (S/cm)

3.5.3 Pengujian Kekuatan Bending

Dalam pengujian bending standar yang digunakan adalah ASTM (America Society of Testing and Mterial) D-790 (*standart Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Elektrical Insulating Mterials*).

Prosedur yang dilakukan dala pengujian ini sebai berikut:

1. Pesiapkan spesimen yang akan diuji
2. Ukur dimensi spesimen terlebih dahulu.
3. Pasang spesimen uji dan periksa kelurusan sumbunya.
4. Nyalakan mesin dan tekn spesimen hingga terjadi perpatahan.

3.5.4 Pengamatan Mikrostruktur

Pengujian mikrostruktur adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Karakteristik mikrostruktur karbon aktif dilakukan untuk melihat morfologi permukaan karbon aktif. Adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat sifat dengan struktur dan cacat pada specimen.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Persiapan yang harus dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pemotongan specimen, pengampelasan dan pemolesan dilanjutkan pengetsaan.

3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian

Tabel dibawah menjelaskan rangkaian kegiatan dalam penelitian pengaruh komposisi karbon grafit dengan *Epoxy* resin sebagai bahan perekat terhadap sifat mekanik dan konduktivitas listrik pada pellet komposit polimer.

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

N O	Jenis Kegiatan	Bulan																											
		Juli				Agustus				September				November				Januari				Februari				Maret			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan Proposal																												
2	Studi Literatur																												
3	Persiapan Alat dan Bahan																												
4	Seminar Proposal																												

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Konduktivitas Listrik

Pengujian ini dilakukan guna untuk menghitung berapa kemampuan material komposit (karbon grafit dengan perekat epoxy resin) dalam menghantarkan arus listrik pada saat pengaplikasiannya nanti. Dari pengujian yang dilakukan maka didapatkan hasil dari ketiga bahan dengan komposisi yang berbeda sebagai berikut.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konduktivitas Listrik Tanpa Hambatan Dimensi

No	Komposisi Fraksi Volume (%)	Resistivitas (Ω)	Volt (V)	Amper (A)
1	70 : 30	0.004	4.0	0.05
2	80 : 20	0.003	4.0	0.04
3	90 : 10	0.002	4.0	0.05

Table di atas adalah hasil dari pengujian menggunakan alat konduktivitas listrik dengan nilai yang didapatkan adalah nilai Resistivitas, Volt dan Amper.

1. Spesimen 1

$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{1}{0.002} = 500$$

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$\sigma = \frac{1}{3.14 \times 1.272^2} \times 500$$

$$\sigma = 98.42 \text{ S/Cm}$$

2. Spesimen 2

$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{1}{0.003} = 333$$

$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$\sigma = \frac{1}{3.14 \times 1.272^2} \times 333$$

$$\sigma = 65.55 \text{ S/Cm}$$

3. Spesimen 3

$$G = \frac{1}{R}$$

$$G = \frac{1}{0.004} = 250$$

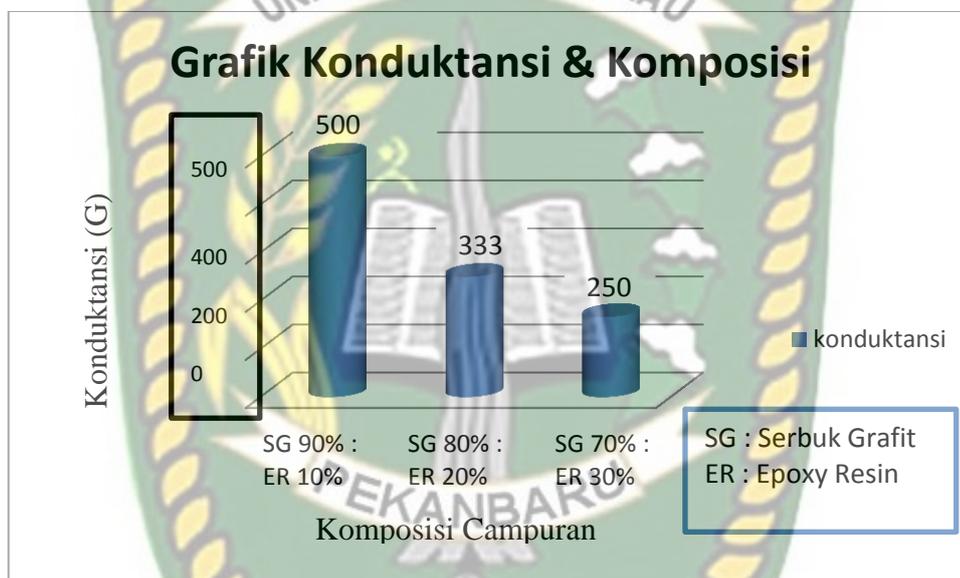
$$\sigma = \frac{L}{A} \times G$$

$$\sigma = \frac{1}{3.14 \times 1.272^2} \times 250$$

$$\sigma = 44.88 \text{ S/Cm}$$

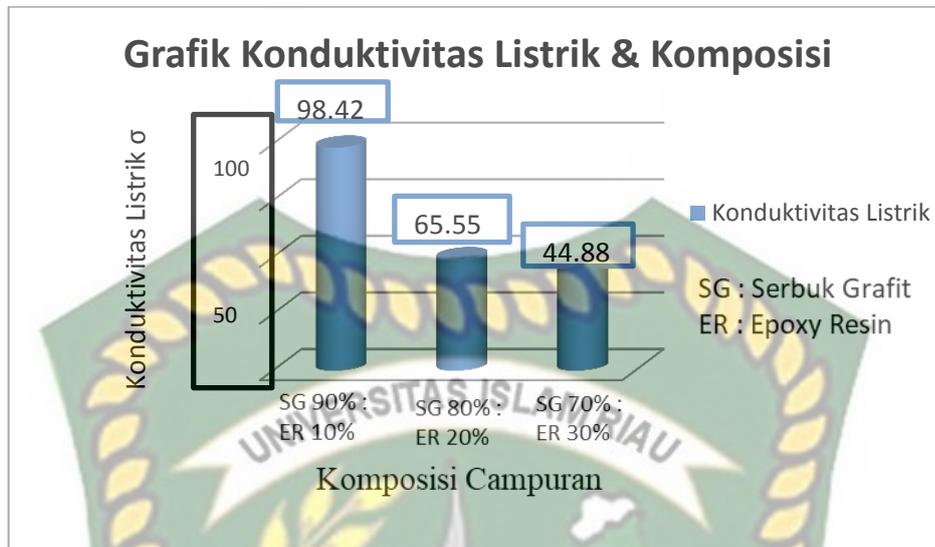
Tabel 4.2 Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi

No	Komposisi Fraksi Volume (%)	Konduktansi (G)	Konduktivitas Listrik (σ) (S/Cm)
1	90 : 10	500	98.42
2	80 : 20	333	65.55
3	70 : 30	250	44.88



Gambar 4.1 Grafik Konduktansi dan Komposisi Campuran

Dari data yang didapatkan pada tabel 4.2 Konduktivitas Listrik Dengan Hambatan Dimensi, didapatkan grafik konduktansi dan komposisi seperti tabel pada gambar 4.1 Grafik Konduktansi dan Komposisi Campuran, dan terlihat bahwa spesimen dengan komposisi karbon grafit 90% dan epoxy resin 10% memiliki nilai konduktansi yang lebih baik disbanding dengan kedua komposisi spesimen yang lain. Hal ini dikarenakan kandungan bahan utama yang mana pada penelitian ini adalah karbon grafit yang memiliki konduktivitas listrik dimana spesimen ini memiliki kadar karbon yang lebih banyak disbanding kedua spesimen lainnya, sehingga mampu meningkatkan nilai konduktansi dari material komposit dengan baik.



Gambar 4.2 Grafik Konduktivitas Listrik dan Komposisi Campuran

Perhitungan nilai Konduktivitas listrik ini dihitung dengan rumus persamaan untuk mengetahui seberapa besar arus listrik yang dihasilkan dari pengukuran nilai konduktansi yang telah dilakukan pada grafik 4.1. dimana hasil pengukuran konduktansi didapatkan setelah dikonversikan menggunakan rumus perhitungan.

4.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan Struktur Mikro pada spesimen komposit ini bertujuan untuk melihat susunan struktur mikro dan melihat rongga yang terjadi pada pellet tersebut. Spesimen yang diamati adalah campuran dari karbon grafit dengan perekat epoxy resin dengan komposisi yang berbeda dari tiga spesimen yang dibuat.

1. Topografi sampel dengan 50x pembesaran



Gambar 4.3 Perbandingan grafit 90% dengan Epoxy 10%

Pada gambar hasil pengamatan mikrostruktur 4.3 menjelaskan bahwa bentuk struktur mikro yang dihasilkan dari komposisi grafit 90% dengan epoxy 10% terlihat karbon grafit menyebar, hal ini dikarenakan kandungan karbon grafit pada sampel lebih dominan dibanding dengan perekatnya. Namun karena partikel yang hampir tidak berjarak ini menyebabkan sampel ini memiliki kekuatan yang tinggi dalam menghantarkan arus listrik. Pada gambar 4.3 di atas dijelaskan panah berwarna hitam adalah grafit dan panah berwarna putih adalah perekat.

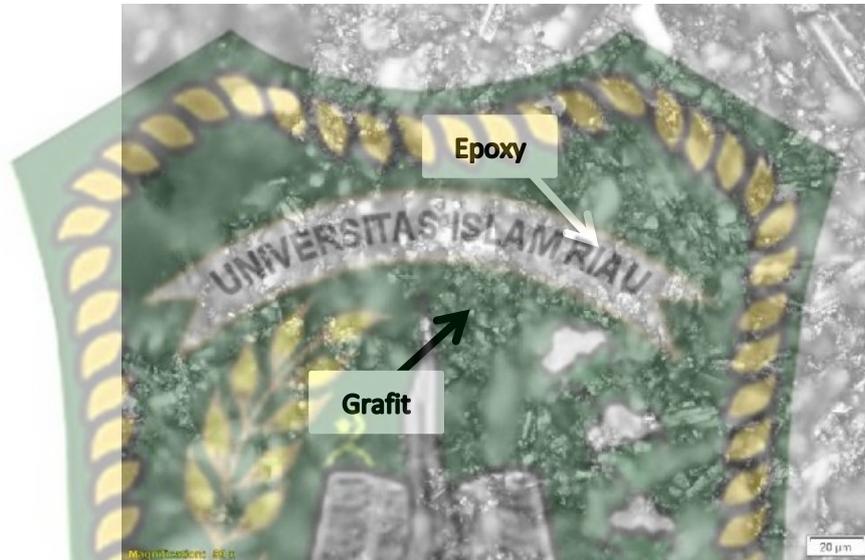
2. Topografi sampel dengan 50x pembesaran



Gambar 4.4 Perbandingan grafit 80% dengan epoxy 20%

Pada gambar hasil pengamatan mikrostruktur 4.4 dengan perbandingan grafit 80% dengan epoxy 20% menunjukkan bahwa grafit lebih dominan dibandingkan dengan epoxy namun lebih sedikit dibandingkan dengan sampel pertama sehingga kekuatan arus listriknya lebih kecil. Hal ini dikarenakan banyaknya pori-pori kecil pada spesimen yang memisahkan antara dua partikel tersebut. Pada gambar 4.5 dijelaskan panah berwarna hitam menunjukkan grafit dan panah berwarna putih menunjukkan epoxy.

3. Topografi sampel dengan 50x pembesaran



Gambar 4.5 Perbandingan grafit 70% dengan epoxy 30%

Pada gambar hasil pengamatan mikrostruktur 4.5 dengan perbandingan grafit 70% dengan epoxy 30% ini menunjukkan bahwa epoxy tampak mengikat grafit, walaupun perbandingan komposisi grafit lebih tinggi dibanding epoxy, perekat mampu mengikat banyaknya karbon grafit yang ada. Hal ini disebabkan karena terjadinya aglomerasi pada partikel partikel grafit, sehingga pada saat sintering berlangsung epoxy mampu merekat grafit dengan baik sehingga membuat grafit tampak lebih sedikit dibandingkan epoxy. Pada gambar 4.5 dijelaskan panah berwarna hitam menunjukkan grafit dan panah berwarna putih menunjukkan epoxy.



Gambar 4.6 Pellet komposit Polimer (spesimen 1, 90% : 10%), (Spesimen II, 80% : 20%), (Spesimen III, 70% : 30%)

4.3 Uji Kekuatan Bending

Pengujian Bending ini merupakan salah satu pengujian sifat mekanik yang dilakukan guna untuk mendapatkan kemampuan material komposit dalam menahan beban lengkung saat pengaplikasiannya nanti. Dari pengujian yang dilakukan maka didapatkan hasil dari ketiga sampel sebagai berikut:

4.3.1 Hasil Data Uji Bending

Dalam pengujian ini terapat tiga spesimen yang memiliki komposisi karbon grafit dengan pengikat epoxy resin yang berbeda beda, yaitu spesimen pertama memiliki 90% karbon grafit dengan 10% epoxy resin, spesimen kedua memiliki 80% karbon grafit dengan 20% epoxy resin, dan yang ketiga memiliki 70% karbon grafit dengan 30% epoxy resin. Untuk hasil pengujian bending dapat dilihat pada table 4.3 hasil pengujian kekuatan bending.

Table 4.3 Hasil Pengujian Kekuatan Bending

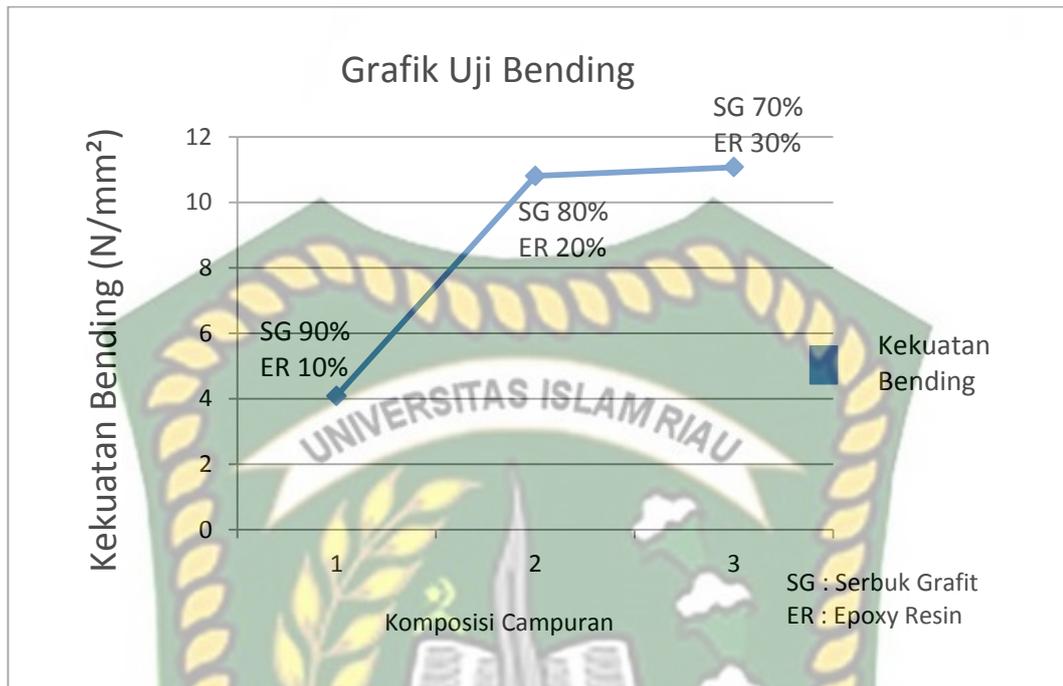
No	Komposisi Fraksi Volume (%)	Area (mm ²)	Max. force(N)	Yield Strength (N/mm ²)	Bending Strength (N/mm ²)
1	90% : 10%	71.500	21.5	0.18	4.09
2	80% : 20%	73.150	58.0	0.79	10.81
3	70% : 30%	75.600	60.3	0.70	11.08



Gambar 4.7 Spesimen uji bending, (spesimen 1, 90% : 10%), (Spesimen 2, 80% : 20%), (Spesimen 3, 70% : 30%).

4.3.2 Grafik Pengujian Kekuatan Bending

Dari hasil pengujian pada table 4.3 dapat membentuk grafik seperti pada gambar 4.6 grafik hasil uji kekuatan bending.



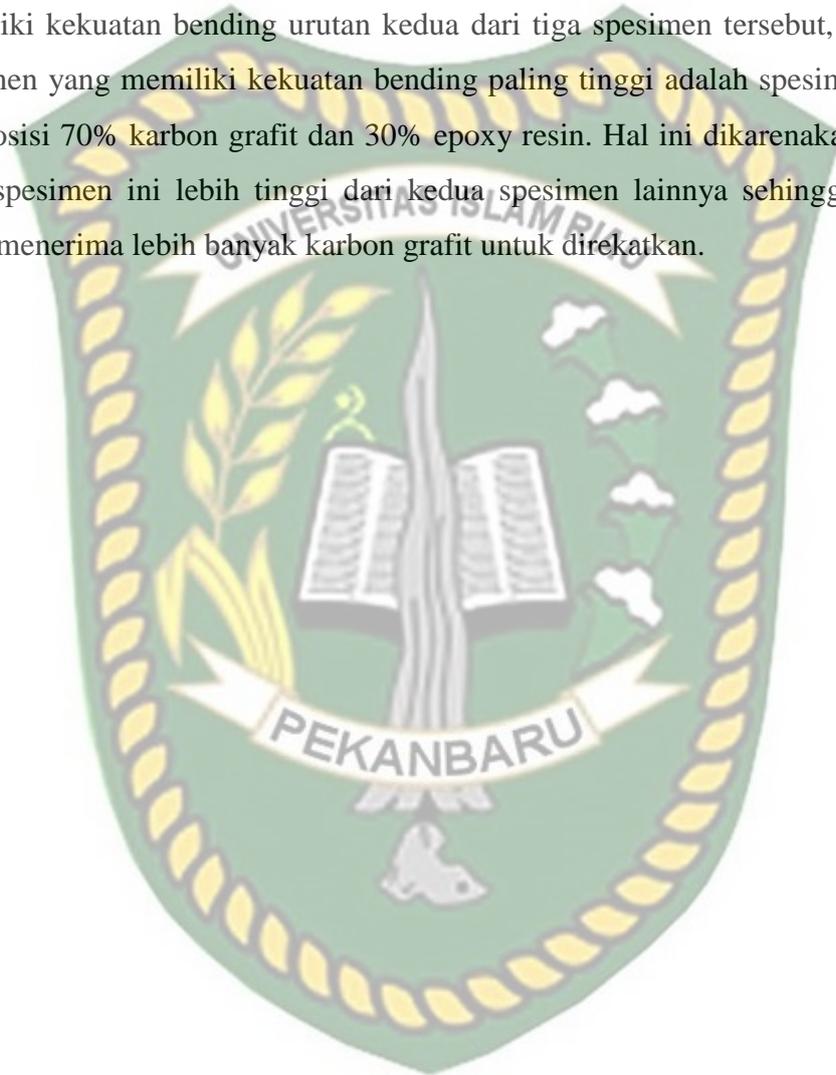
Gambar 4.8 Grafik Hasil Uji Kekuatan Bending

Dari data table 4.3 dan grafik pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil nilai kekuatan bending yang berbeda beda, hal itu dikarenakan adanya perbedaan komposisi pada setiap spesimennya. Spesimen pertama memiliki campuran 90% karbon grafit dengan 10% epoxy resin, spesimen kedua memiliki 80% karbon grafit dengan 20% epoxy resin, dan yang ketiga memiliki 70% karbon grafit dengan 30% epoxy resin.

Spesimen pertama dengan komposisi karbon grafit 90% dan 10% epoxy resin memiliki kekuatan bending paling lemah diantara kedua spesimen lainnya, hal ini dikarenakan kandungan karbon grafit yang lebih dominan sehingga pengikat epoxy resin yang tersebar pada karbon grafit tersebut tidak terlalu kuat untuk menahannya. Ditambah jenis karbon grafit yang berbentuk serbuk halus, ketika dicampur dengan pengikat dalam hal ini epoxy resin akan menggupal pada pengikat yang dominan sehingga karbon grafit yang tidak terkena campuran

pertama kali akan terlambat menyerap pengikat sehingga dengan sedikitnya pengikat akan mengakibatkan lemahnya sifat mekanik spesimen pertama.

Spesimen dengan komposisi 80% karbon grafit dengan 20% epoxy resin memiliki kekuatan bending urutan kedua dari tiga spesimen tersebut, sedangkan spesimen yang memiliki kekuatan bending paling tinggi adalah spesimen dengan komposisi 70% karbon grafit dan 30% epoxy resin. Hal ini dikarenakan pengikat pada spesimen ini lebih tinggi dari kedua spesimen lainnya sehingga pengikat dapat menerima lebih banyak karbon grafit untuk direkatkan.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

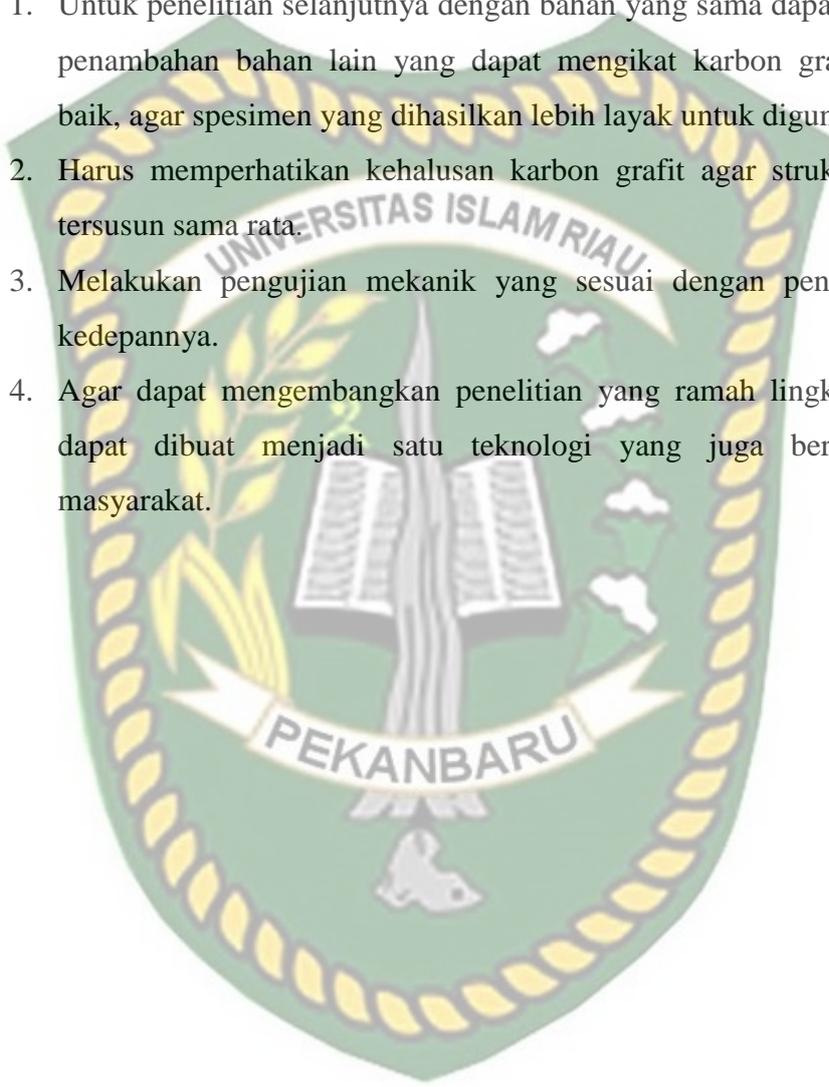
Selama pengujian pada alat uji konduktivitas listrik, pengamatan mikrostruktur, dan alat uji bending pada spesimen pellet komposit polymer, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa

1. Hasil dari konduktivitas listrik menggunakan alat uji konduktivitas listrik didapatkan nilai konduktivitas listrik pada spesimen dengan komposisi 90% karbon grafit dengan 10% epoxy resin dapat menghantarkan arus listrik lebih baik dibandingkan dengan dua komposisi spesimen lainnya dengan nilai konduktivitas listrik 98.42 S/Cm.
2. Dari hasil pengamatan mikrostruktur dengan menggunakan mikroskop optic Olympus bahwa susunan partikel komposisi karbon grafit dengan epoxy resin berbeda-beda. Pada komposisi karbon grafit 90% dengan 10% epoxy resin memiliki susunan partikel yang cukup berjarak sehingga membuat spesimen tersebut mudah hancur, hal ini diakibatkan karena karbon grafit lebih dominan dibandingkan pengikat epoxy resin. Pada komposisi spesimen ke 1 yaitu 70% karbon grafit dengan 30% epoxy resin memiliki susunan partikel yang cukup rapat karena pengikat epoxy resin mampu mengikat seluruh karbon grafit dengan baik.
3. Hasil pada pengujian kekuatan bending memiliki nilai yang berbeda beda, dimana spesimen yang memiliki kekuatan paling tinggi terdapat pada spesimen pertama dengan komposisi 70% karbon grafit dengan 30% epoxy resin dengan nilai kekuata bending 11.08 N/mm².

5.2 Saran

Dari hasil penelitian komposit karbon grafit ini, ada beberapa saran dalam pengujian ini

1. Untuk penelitian selanjutnya dengan bahan yang sama dapat dilakukan penambahan bahan lain yang dapat mengikat karbon grafit dengan baik, agar spesimen yang dihasilkan lebih layak untuk digunakan.
2. Harus memperhatikan kehalusan karbon grafit agar struktur karbon tersusun sama rata.
3. Melakukan pengujian mekanik yang sesuai dengan pengaplikasian kedepannya.
4. Agar dapat mengembangkan penelitian yang ramah lingkungan dan dapat dibuat menjadi satu teknologi yang juga berguna bagi masyarakat.



DAFTAR PUSTAKA

- Ara Gradiniar Rizkyta, Hosta Ardhyananta, 2013. "Pengaruh Penambahan Karbon Terhadap Sifat Mekanik Dan Konduktivitas Listrik komposit karbon/epoxy Sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC))". Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1. ISSN: 2337-3539.
- Hendrata Suhada, "Fuel Cell sebagai pengasil energy abad 21". Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin - Universitas Kristen Petra. Jurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 2, Oktober 2001: 92 – 100.
- Harsi, Nasmi, Sinarep. Juli 2015. "Kekuatan bending dan tekan komposit serat hybrid kapas/gelas". <<https://media.neliti.com/media/publications/58411-ID-karakteristik-kekuatan-bending-dan-kekua.pdf>>.
- I Gede Widiartha, Nasmi Herlina Sari, Sujita. Volume 2 No.2 Juli 2012. "Study Kekuatan Bending Dan Struktur Mikro Komposit Polyethylene Yang Diperkuat Oleh Hybrid Serat Sisal Dan Karung Goni". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- Lokantara P., dan Suardana N. P. G., 2007. "Analisis Arah Dan Perlakuan Serat Tapis Serat Rasio Epoxy Hardener Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Tapis/Epoxy". Jurnal Cakram, Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.
- Muhamad Muhajir, Muhammad Alfian Mizar, Dwi Agus Sudjimat. "Analisa Kekuatan Tarik Bahan Komposit Metriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak". Jurnal Teknik Mesin, Tahun 24, NO. 2, Oktober 2016.
- Harsi, Nasmi, Sinarep. "Ketahanan Bending Komposit Hybrid Serat Batang Kelapa/Serat Gelas Dengan Matrik Urea Formaldheyde". Dinamika Teknik Mesin, Volume 5 No. 2 Juli 2015 ISSN: 2088-088X.